

# ACTIVE AND REACTIVE ENERGY FLOWS ANALYSIS OF 110/22 KV TRANSFORMATION POINTS

**Pavel Pololanik**

Bachelor (3), FEEC BUT

E-mail: xpolol02@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Michal Ptacek

E-mail: ptacekm@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The paper contains description of two extensive areas of the distribution network. It also presents differences in comparison of overhead lines and cable lines or indicates influence of RES on energy flow. Therefore there are summary results of active and primarily reactive energy at 110/22 kV transformation points.

**Keywords:** distribution system, power flow, reactive power flow, active power flow, RES, DSO.

## 1 ÚVOD

Centralizovaná energetika se postupně mění na decentralizovanou. Vnořené rozptýlené zdroje mohou způsobovat, že elektrická energie již neteče pouze z přenosové sítě (PS) přes distribuční síť (DS) ke spotřebiteli na nižších napěťových hladinách, ale dochází i ke zpětným tokům činné a jalové energie zpět do vyšších napěťových hladin. Na změny toků činné a jalové energie mají zásadní vliv i samotné rozptýlené zdroje elektrické energie. Případné změny toků činné energie jsou odvislé zejména od poměru velikosti instalovaného výkonu zdroje a velikosti příkonu spotřebičů instalovaných v dané lokální DS, resp. zejména tomu odpovídající soudobosti vyrobené a spotřebované energie. Z pohledu toků jalové energie je pak zásadní skutečnost, že rozptýlené zdroje energie využívají v mnoha případech pro stabilizaci napětí v místě připojení právě jalový výkon [1]. Dalším faktorem ovlivňující hlavně toky jalové energie jsou změny v infrastruktuře rozvodu, kde dochází větší míře k použití kabelových vedení. Obecně lze uvažovat, že v elektrizační soustavě jsou dodávky jalové energie do nadřazené soustavy velmi problematické. V přenosové soustavě tyto přetoky způsobují zvýšené napětí a znesnadňují regulaci. Provozovatelé přenosových sítí (PPS), ale i provozovatelé distribučních sítí (PDS) se obecně snaží snížit velikost přenášené jalové energie, jelikož přenos velkého množství jalové energie je obecně nežádoucí jev mající technické i ekonomické konsekvence. Aby mohly být navrženy odpovídající způsoby technického řešení, je důležité provést analýzu současného stavu těchto sítí, proto i tento článek provádí základní hodnocení specifických distribučních oblastí.

## 2 CHARAKTERISTIKA ANALYZOVANÝCH OBLASTÍ

Základní analýza byla provedena pro dvě, provedením odlišné, oblasti. Hodnocena je distribuční síť části města Brna a jeho bezprostředního okolí (oblast 1). Předmětem hodnocení je dále distribuční síť lokalizovaná mimo komplikovanou infrastrukturu velkého města. Tato odpovídá charakteristikou spíše venkovským lokalitám, tzn. je hodnocen region jižně od Brna společně s regiony Břeclavsko a Znojemsko (oblast 2).

Hodnocené oblasti se odlišují v provedení distribučního vedení. Pro oblast 1 je charakteristické především kabelové vedení 22 kV a 0,4 kV. V Oblasti 2 převládají na úrovni 22 kV a 0,4 kV sítě venkovního vedení. Provoz venkovního vedení oproti kabelovému, jakožto síťovým prvkům, se významně nepodílí na ovlivňování toků jalové energie, pakliže nebudeme uvažovat možný vliv samokompensace jalové energie. Jednotlivé oblasti se významně odlišují také ve skladbě zdrojů při-

pojených do DS, které mají nezanedbatelný vliv na chod DS a přímo ovlivňují také toky energií přes transformátory.

## 2.1 POPIS OBLASTI 1

Předmětem hodnocení je 15 rozvoden 110/22 kV, které jsou dálkově monitorovány a řízeny z dispečerského řídicího systému. Současně jsou tyto rozvodny osazeny monitorováním rozvodné sítě a zdrojů na hladině 22 kV. Napájení DS je zajištěno převážně z PS prostřednictvím nadřazených transformačních stanic Čebín (CNT) a Sokolnice (SO). Zbylé napájení zajišťují decentrální zdroje. Ve městě Brně to jsou především velké tepelné zdroje pro systémovou regulaci, např. Teplárny Brno a. s. provoz Červený mlýn s instalovaným elektrickým výkonem 95 MW, provoz Špitálka (80,6 MW) [2] nebo spalovna odpadu SAKO Brno a. s. (22,7 MW). Dále jsou do hladiny 22 kV zapojeny menší zdroje fotovoltaické elektrárny (FVE), bioplynové elektrárny (BPE) a kogenerační jednotky (KGE) se souhrnným instalovaným výkonem přibližně 60,3 MW.

DS na úrovni 22 kV a 0,4 kV je v městské zástavbě realizována výhradně kabelovým vedením. Velmi malá část je realizována jako venkovní vedení. Venkovní vedení je užito výjimečně např. v městské části Líšeň a v příměstských oblastech jako jsou například Soběšice, Česká a Lelekovice.

## 2.2 POPIS OBLASTI 2

V rámci hodnocení této oblasti bylo hodnoceno 10 rozvoden 110/22 kV, které jsou stejně jako v Oblasti 1 dálkově monitorovány a řízeny z dispečerského řídicího systému a současně zajišťují monitorování rozvodné sítě a zdrojů na hladině 22 kV. Napájení DS je zajištěno převážně z přenosové soustavy prostřednictvím nadřazené transformační stanice Sokolnice. Zbylé napájení zajišťují menší decentrální zdroje FVE, BPE, KGE, VE a VTE. Do hladiny 22 kV je celkem připojeno 123 výroben s celkovým instalovaným výkonem 205,2 MW. V této oblasti je největší koncentrace výskytu fotovoltaických elektráren připojených do hladiny 22 kV z celé ČR. Celkový počet je 99 s celkovým instalovaným výkonem 172,5 MW.

Rozvodná soustava je na všech napětíových hladinách realizována převážně venkovním vedením. Na úrovni 110 kV je použito pouze venkovní vedení. Kabelové vedení na úrovni 22 kV je proti oblasti 1 použito ve velmi malé míře, převážně v obydlených aglomeracích.

## 2.3 DECENTRALIZOVANÉ ZDROJE ENERGIE

Tepelné elektrárny Teplárny Brno a. s. provoz Červený mlýn, provoz Špitálka a spalovna odpadu SAKO Brno a. s. jsou výkonově velké zdroje, které jsou ovládány lokálními dispečinkami. Pracují v rozsahu kruhového diagramu generátorů.

Obnovitelné zdroje energie (FVE, BPE, VE, VTE) a kogenerační jednotky (KGE) připojené do hladiny 22 kV lze z pohledu dispečerského řízení rozdělit do tří kategorií:

- Zdroje s dálkovou regulací  $P, Q$
- Zdroje s dálkovou regulací  $P$
- Zdroje bez dálkové regulace, pouze s lokální regulací

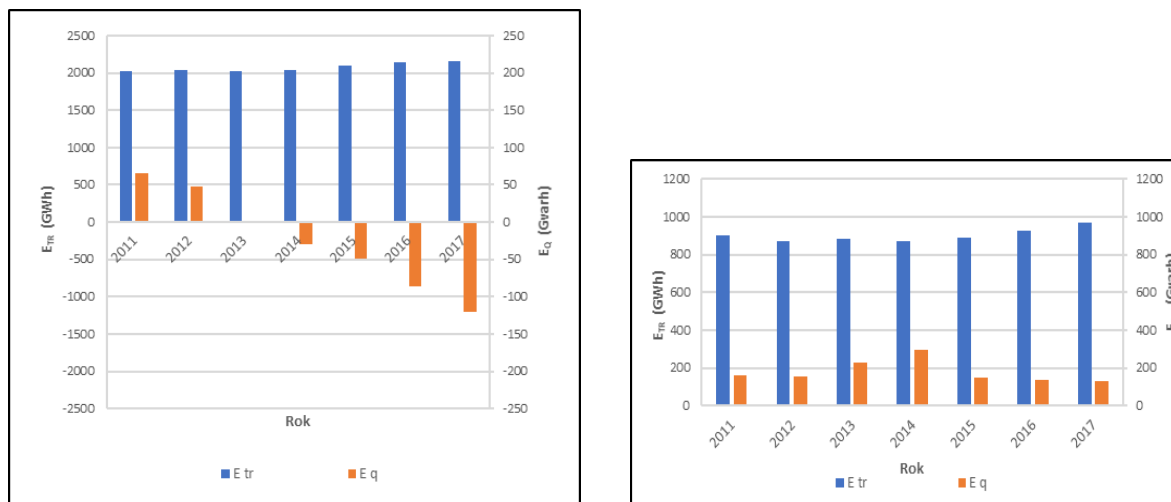
**Tabulka 1:** Celkový přehled OZE a KGE k 31. 12. 2017

	Oblast 1		Oblast 2	
	Počet	$P_i$ (MW)	Počet	$P_i$ (MW)
Dálková regulace $P, Q$	24	37,0	76	172,5
Dálková regulace pouze $P$	21	9,8	26	17,3
Bez dálkové regulace	19	13,4	21	15,2
Celkem	64	60,3	123	205,2

### 3 HODNOCENÍ TOKŮ ČINNÉ A JALOVÉ ENERGIE

Vyhodnocení provozu obou oblastí je provedeno na základě dat, která byla získána ze standardního trvale instalovaného měření na sekundární straně transformátorů 110/22 kV. Použity byly průměrné hodnoty činného a jalového výkonu na transformátorech a průměrné hodnoty činného výkonu z OZE. Jedná se o hodinové průměrné hodnoty za období od roku 2011 až do 2017.

Při vyhodnocování byla použita následující znaménková konvence. Kladné znaménko znamená, že energie byla sítí 22 kV odebírána, naopak záporné znaménko znamená dodávku (přetok) energie ze sítě 22 kV do 110 kV. Činná energie z OZE je označena  $E_{OZE}$ .  $E_{TR}$  je výsledná činná energie na transformátorech 110/22 kV. Celková jalová energie  $E_Q$  ukazuje celkový výsledný charakter toku jalové energie.

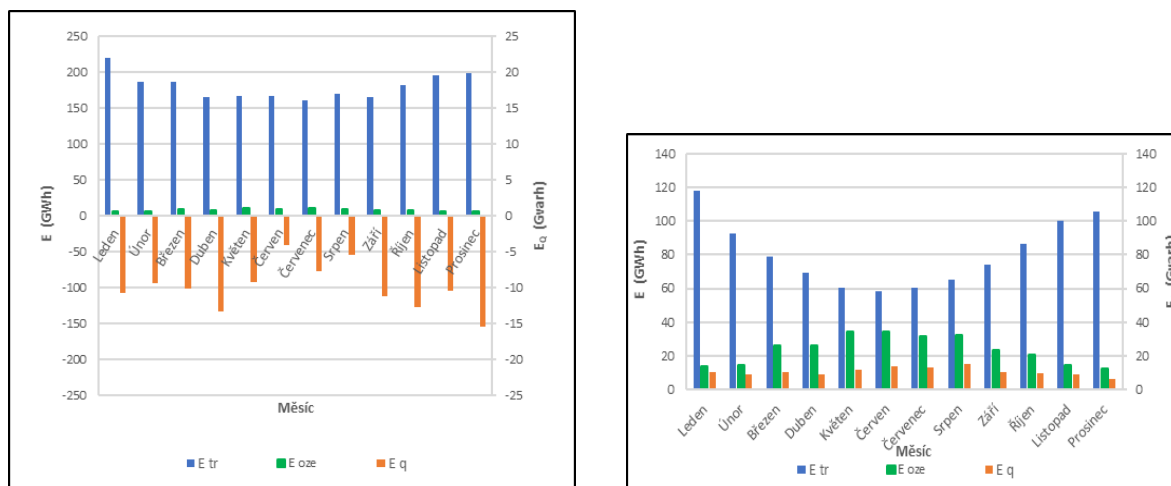


a)

b)

**Obrázek 1:** Vývoj činné a jalové energie mezi 2011-2017 a) Oblast 1, b) Oblast 2

Na Obrázku 1 je zobrazena celková bilance za jednotlivé analyzované roky pro vybrané oblasti. Jsou uvedeny celkové hodnoty činné energie  $E_{TR}$  a jalové energie  $E_Q$ . Zřejmá je tendence zvyšující se dodávky činné energie v obou oblastech. Mezi roky 2011 a 2013 v síti Oblasti 1 převládá odběr jalové energie. V roce 2013 se dodávka jalové energie téměř vyrovnala odběru. Od roku 2014 převládá dodávka (tj. přetok) jalové energie do nadřazené soustavy s každoročním nárůstem. V Oblasti 2 převládá odběr jalové energie.



a)

b)

**Obrázek 2:** Vývoj činné a jalové energie v roce 2017 a) Oblast 1, b) Oblast 2

Během roku nedochází v jednotlivých měsících k rovnoměrnému odběru. V zimním období je spotřeba činné energie obecně nejvyšší. Na Obrázku 2 je proto ukázán vývoj  $E_{TR}$  a  $E_Q$  v jednotlivých měsících roku 2017, ke kterému je doplněn vývoj činné energie z obnovitelných zdrojů  $E_{OZE}$ .

Velká spotřeba v zimních měsících je zapříčiněna především využíváním elektrického vytápění v průmyslových oblastech a v kancelářských prostorech. Naopak v letních měsících dochází k nižší poptávce po elektrické energii. Obnovitelné zdroje energie dodávají díky příznivému počasí energii především v letních měsících, v zimních měsících je celková vyrobená energie nižší. Rozdíl dodané energie z OZE je mezi oblastmi markantní. Vývoj jalové energie se od činné odlišuje. Největší odběry jalové energie jsou zaznamenány v letních měsících. Na Obrázku 2b. se tento odběr projevuje v červnu a v srpnu nejvyššími hodnotami  $E_Q$ . Naproti tomu na Obrázku 2a. se odběr projevuje ve výsledku snížením celkového přetoku jalové energie ze sítě 22 kV do 110 kV.

#### 4 ZÁVĚR

Výsledky ukazují, že na začátku sledovaného období 2011 se obě analyzované oblasti z ročního sumárního pohledu jeví jako sítě charakteristické odběrem jalové energie.

V oblasti 1 je od začátku sledovaného období patrná postupná proměna charakteru toku jalové energie. Mezi roky 2011 až 2013 postupně klesá odběr jalové energie ze sítě 110 kV a od roku 2014 začíná převažovat dodávka jalové energie do soustavy 110 kV. Největší vliv na daný vývoj má zřejmě především postupné rozšiřování kabelového vedení 22 kV. Na celkové bilanci jalové energie se podílejí i tepelné elektrárny. Provozovány jsou v chladných měsících a společně s činnou energií dodávají do sítě i jalovou energii. V letních měsících dochází k odstavení těchto zdrojů.

V Oblasti 2 po celé sledované období převažuje odběr jalové energie ze sítě 110 kV. Rozsáhlé venkovní vedení při zatížení přispívá ke spotřebě jalové energie, při nízkém zatížení nepřispívá k přetokům tak významně jako kabelové vedení. Dalším významným faktorem ovlivňujícím jalovou energii v této oblasti, je automatická regulace  $U/Q$  vysokého počtu OZE. Aby bylo dodrženo požadované napětí v místě připojení výroby, mění automatická regulace pomocí regulace účinku výroby její charakter na induktivní. Výroba spotřebovává jalovou energii a tím dochází ke snížení napětí.

Je nutno poznamenat, že analýza dat využívala průměrné hodinové hodnoty energií a v každé hodině byla hodnocena pouze jedna hodnota činné energie a jedna hodnota jalové energie. Výsledky je tak nutno vnímat jako informativní, vzhledem k tomu, že jsou zatíženy nepřesností ve smyslu „samokomenzování“, tj. lze předpokládat, že odběry a dodávky energií jsou ve skutečnosti vyšší. V souvislosti s tím by bylo nezbytné pracovat s daty, která by odpovídala hodnotám získaným z šesti registrového měření s třížením energií před jejich agregací, tzn. bylo by možné hodnotit odběry a dodávky energií odděleně v rámci agregačního intervalu.

#### PODĚKOVÁNÍ

Autor článku děkuje Centru výzkumu a využití obnovitelných zdrojů energie (CVVOZE), ve kterém tento článek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci projektu specifického výzkumu na VUT (projekt č. FEKT-S-17-4784). Autor by také rád poděkoval společnosti E.ON Distribuce a. s. za poskytnutá data a za vstřícný postoj při zpracovávání dat.

#### REFERENCE

- [1] VANĚK, R. Regulace  $U/Q$  obnovitelných zdrojů v síti vn ČEZ Distribuce, a. s., 2018, roč. 67, č. 5, s. 313-317. ISSN: 0375-8842
- [2] Teplárny Brno, a. s., Teplárny Brno - teplo a elektřina pro Brno [online]. Copyright © 2014 [cit. 10.03.2019]. Dostupné z: <https://www.teplarny.cz/provozy>